

## 化学増幅型レジストを用いたナノメーターリソグラフィ技術に関する研究

著者	東 司
号	2556
発行年	2000
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/7829">http://hdl.handle.net/10097/7829</a>

氏 名	あずま つかさ
授 与 学 位	東 司 博士（工学）
学 位 授 与 年 月 日	平成 12 年 9 月 13 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 4 条第 1 項
研究科，専攻の名称	東北大学大学院工学研究科（博士課程）電子工学専攻
学 位 論 文 題 目	化学増幅型レジストを用いたナノメーターリソグラフィー技術 に関する研究 (A Study on Nanometer Lithography using Chemically Amplified Resists)
指 導 教 官	東北大学教授 坪内 和夫
論 文 審 査 委 員	主査 東北大学教授 坪内 和夫 東北大学教授 大見 忠弘 東北大学教授 室田 淳一

## 論 文 内 容 要 旨

超微細加工技術の進歩は半導体デバイスの超高集積化と超高密度化を促すばかりではなく、半導体素子の超高速化をも可能にする。この超微細加工技術を支えるキーテクノロジーであるリソグラフィー技術の基本戦略として、130 nm 以降の半導体デバイス量産用の超微細加工技術を構築するためには、露光装置技術からのアプローチである短波長化や超解像技術ばかりではなく、プロセス技術からのアプローチである化学増幅型レジストを用いたレジストプロセス設計手法を確立する必要がある。特に、Deep Ultraviolet (DUV) 光以降のリソグラフィー技術の実現には、高感度でかつ高解像度特性を示し、従来型レジストとは異なる反応機構を有する化学増幅型レジストを用いたレジストプロセスの開発が必須である。本論文は、化学増幅型レジストを用いた薄膜レジストプロセスによるナノメーターリソグラフィー技術として、100 nm スケールの微細加工を目指した電子ビーム(EB)リソグラフィー技術、130 nm スケールの微細加工を目指した KrF 光リソグラフィー技術、110 nm スケールの微細加工を目指した ArF 光リソグラフィー技術を開発した成果をまとめたもので、全文 5 章よりなる。

### 第 1 章 序論

本章では、半導体技術の超微細化における背景と将来予測、化学増幅型レジストを用いたナノメーターリソグラフィーにおける技術戦略および本研究の目的について論じている。

すなわち、de Broglie の式から予測される EB リソグラフィー技術における高加速電圧化による限界解像力の向上や、Rayleigh の式から予測される DUV 光リソグラフィー技術における短波長化あるいは高 Numerical Aperture (NA)化による限界解像力の向上ばかりではなく、より高い実用性と汎用性を兼ね備えた化学増幅型レジストを用いた薄膜レジストプロセスによる限界解像力の向上の有効性を指摘した。

## 第2章 EB リソグラフィー

本章では、化学増幅型レジストにおける反応機構について論じている。半導体デバイス量産用の超微細加工技術に要求されるプロセス裕度向上へのアプローチとして、従来型レジストとは異なる反応機構を有する化学増幅型レジストにおけるプロセス制御方法の確立が必要となる。化学分析手法を駆使して、化学増幅型レジストを用いた微細パターン形成における残留溶媒の効果について検討した結果、化学増幅型レジストによる微細パターン形成においては、Prebake (PB)処理条件最適化により、酸触媒の拡散を媒介する残留溶媒量を制御する必要があることを見出した。更に、化学増幅型レジストの残留溶媒量制御によるプロセス裕度の向上効果を実証した。また、プロセス裕度向上に有効な薄膜レジストプロセスを用いた可変成型型 EB 直接描画装置による 100 nm リソグラフィー技術について述べ、ゲート長 100 nm の微細 CMOS デバイスの動作特性評価への応用を示した。

## 第3章 KrF 光リソグラフィー

本章では、KrF 光リソグラフィーを用いた化学増幅型レジストにおける薄膜化プロセスについて論じている。180 nm デバイス量産用リソグラフィー技術を可能にした安価な KrF 光リソグラフィー技術の 130 nm リソグラフィーへの延命による実用的プロセスの構築を目的に、薄膜干渉効果を考慮した薄膜レジストプロセスを提案した。レジスト薄膜化における課題として、ラインエッジラフネスの問題に対しては酸発生剤の拡散を制御するレジスト材料設計手法の導入、薄膜干渉効果と耐 RIE 性の問題に対しては SiO<sub>2</sub>/カーボン複合膜とアモルファス Si の 2 種類のパターン転写プロセスの導入による解決法をそれぞれ提案した。更に、薄膜干渉効果を考慮して決定された膜厚 80 nm の薄膜レジストと 0.6 NA の KrF 露光装置の組み合わせにより、130 nm リソグラフィーの可能性を示し、Rayleigh の式における  $k_1$  ファクターが  $k_1=0.314516$  に達する low  $k_1$  リソグラフィーを実現した。また、膜厚 215 nm の薄膜レジストと 0.68 NA の KrF 露光装置の組み合わせにより、よ

り高い実用性と汎用性を兼ね備えた 130 nm デバイス量産用リソグラフィ技術を実証した。

#### 第4章 ArF 光リソグラフィ

本章では、ArF 光リソグラフィを用いた化学増幅型レジストにおける薄膜化プロセスについて論じている。第3章で論じた KrF 光リソグラフィ技術の延長線上での短波長化による超微細加工技術の構築を目的に、ArF 光リソグラフィでより顕在化した問題である化学増幅型レジストにおけるラインエッジラフネスの光学像コントラスト依存性を明らかにすることが ArF リソグラフィ技術の実用化に対して重要であることを指摘した。また、ラインエッジラフネスの定量化手法を新たに確立し、高 NA 化による光学像コントラスト向上がラインエッジラフネスの低減に有効であることを見出した。更に、KrF 光リソグラフィにおける薄膜レジストプロセスで得られた知見を ArF 光リソグラフィにも適用することにより、110 nm デバイス量産用リソグラフィ技術を実証した。

#### 第5章 結論

本章では、第4章までの研究成果をまとめて結論とした。すなわち、化学増幅型レジストの反応機構を考慮した薄膜レジストプロセス設計手法を確立し、EB リソグラフィ、KrF 光リソグラフィ、ArF 光リソグラフィのそれぞれにおける化学増幅型レジストを用いたナノメーターリソグラフィ技術について検討することにより、130 nm 以降の半導体デバイス量産用の超微細加工技術を構築した。

## 審査結果の要旨

近年の半導体デバイスの微細化に伴い、微細加工技術は MUV(Mid Ultra-Violet) 光から DUV(Deep Ultra-Violet) 光、更には電子ビームへと露光光源の短波長化が進んでいる。DUV 光以降の極微細リソグラフィー技術の実現には、高感度でかつ高解像度特性をもつ化学増幅型レジストプロセスの開発が必須である。本論文は、化学増幅型レジストを用いた薄膜レジストプロセスによるナノメートルリソグラフィー技術として、100nm スケール電子ビームリソグラフィー技術、DUV 光である KrF 光による量産デバイス用 130nm リソグラフィー技術、さらに 110nm ArF 光リソグラフィー技術を開発した成果をまとめたもので、全文 5 章よりなる。

第 1 章は序論である。

第 2 章では、化学増幅型レジストの薄膜化プロセス技術の確立について述べている。レジスト反応機構の解析により、レジスト中の残留溶媒量が露光前加熱処理条件に大きく依存することを示し、この残留溶媒が酸触媒の拡散を媒介し解像度を劣化させるモデルを提唱した。残留溶媒量を制御するため露光前加熱条件を最適化し、さらにレジストを薄膜化する事により、解像度およびプロセス裕度を向上させた。この技術を用いて、電子ビーム直接描画により 100nm ゲート長 CMOS デバイスを作製し、その動作特性を評価した。これは、化学増幅レジスト薄膜化プロセス技術によるナノメートルリソグラフィー技術の基礎を確立した重要な成果である。

第 3 章では、化学増幅型レジストを KrF 光リソグラフィーに用いた薄膜レジストプロセスについて述べている。レジスト薄膜化によりラインエッジラフネスや薄膜干渉効果が顕在化し、高解像度実現の妨げとなっていた。ラインエッジラフネス低減のため、酸発生剤とクエンチャーと呼ばれる塩基性成分をレジストに添加する事によりパターン矩形性が向上する事を見出した。さらに、反射防止膜を含む多層パターン転写プロセス技術を新たに開発し、薄膜干渉効果を抑制すると同時に耐 RIE 性を向上させ、量産用 130nm リソグラフィー技術として確立した。これは、従来は不可能と考えられていた KrF 光による 130nm デバイス量産用リソグラフィー技術を確立した実用上極めて重要な成果である。

第 4 章では、110nm リソグラフィーには不可欠となる ArF 光による薄膜レジストプロセスについて述べている。KrF 光より短波長である ArF 光に対してはレジスト材料の開発が不十分であり、とくに光学像コントラストの劣化によるラインエッジラフネス増大が高解像度化への問題となっていた。このため、ArF 光リソグラフィー用にレジスト材料を新たに開発し、110nm ライン&スペースのパターニングを実現した。またラインエッジラフネスの定量化手法を新たに確立し、ラインエッジラフネスの光学像コントラスト依存性をはじめて明らかにした。この知見から、高レンズ開口数の露光装置を用いる事で高解像度で矩形性に優れた 110nm リソグラフィーが十分実現可能である事を示した。これは 110nm デバイス量産用リソグラフィー技術の基礎を確立した有用な成果である。

第 5 章は結論である。

以上要するに本論文は、化学増幅型レジストの反応機構を考慮した薄膜レジストプロセス設計手法を確立し、130nm 以降の半導体デバイス量産用の超微細加工技術を構築したもので、半導体工学、集積回路工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。